

標はそれぞれ、0.142, 0.646 と決定された ( $c$  軸長を単位として、この方向での原子座標を表わしたもので、この2つの値以外の原子座標パラメータは、結晶の対称性から一意的に決まる)。また、このときの電子状態密度は、Fermi 準位での値が小さく、bad metal (導電性の悪い金属) であることが予想される。

一方、本研究では、類似物質 LaFePO についても結晶構造最適化を行ないながら、その基底状態を調べた。この物質では、転移温度が 4 K と低いながらも、ドーピングを行なわない状態でも超伝導が発現する。LaFeAsO と LaFePO を詳細に比較することは、超伝導発現機構の解明に迫る近道の一つと考えられる。計算結果は、実験結果が示す通り、LaFePO は非磁性で良好な金属である状態が安定となった。銅酸化物の場合と同様、反強磁性状態をどう抑制するかが超伝導発現の鍵と考えられる。

LaFeAsO に対して、La を Sm などのランタン系列元素と、Fe を Ni などの遷移金属元素と、As を P, Sb の VB 族元素と様々な組み合わせで入れ替えた物質の作成が比較的容易なことが知られており、新超伝導体 La FeAs[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>] の発見により、高温超伝導体探索の対象は格段に増大した。今後、元素置換の効果、フッ素や酸素空孔導入の影響 (特に反強磁性の安定性への)、また、電子相関の効果など、調べていかなければならない多くの課題が本研究の次に待ち構えており、高温超伝導体探索のさらなる展開が大いに期待される。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) No. 5, p. 053709.  
電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/053709>

〈情報提供: 石橋章司 (産業技術総合研究所)〉

なお、LaFeAsO 系新超伝導体が我々に投げかける新たな課題は何かについての福山秀敏氏による解説 “High-Temperature Superconductivity in Another Beautiful Crystal Structure” が、JPSJ ホームページ上の News and Comments 欄に掲載されている ([http://www.ipap.jp/jpsj/news/jpsj-nc\\_34.htm](http://www.ipap.jp/jpsj/news/jpsj-nc_34.htm))。どなたでもアクセスできるので、ご参照いただきたい。

### 新奇的な超伝導現象、「強磁性ジョセフソン共鳴」の提案

厚さ数 Å の絶縁体 (I) を 2 つの超伝導体 (SC) で挟んだジョセフソン接合において、超伝導体中のクーパー対が量子力学的なトンネル効果により直流超伝導電流が流れる。これを直流ジョセフソン効果と言う。また、接合に電位差が生じている場合は交流超伝導電流が流れるため交流ジョセフソン効果と呼ばれる。近年、絶縁体を強磁性金属 (FM) に置き換えた SC/FM/SC 接合が注目されている。この接合の特徴は、SC のペア振幅が FM へ侵入すると、FM 中の交換エネルギーのため、ジョセフソン電流の最大値 (臨界値) が FM の厚さの関数として振動することである。その結果、ジョセフソン電流と、隔てられた二つの超

伝導状態の位相 (差) との関係が、従来のジョセフソン接合のもの (0-接合) から  $\pi$  だけずれたもの ( $\pi$ -接合) になる。 $\pi$ -接合は、量子計算における基本素子、いわゆる量子ビットの有力な候補としても注目されている。一方で、これまでの SC/FM/SC 接合に関する研究では、交流ジョセフソン効果などの SC の動的な性質に関する研究は多くあるが、FM に関しては、交換エネルギーのみに着目し、FM における磁化の動的な性質 (スピン波) は無視されてきた。最近、東北大学金属材料研究所の挽野真一、森道康、高橋三郎、前川禎通の 4 氏からなるグループは、SC/FM/SC 接合において FM にマイクロ波を照射することにより生じる強磁性共鳴によって直流のジョセフソン電流が誘起される可能性を提案した。

本研究では、図 2 に示すように FM を 2 つの  $s$ -波超伝導体で挟んだ SC/FM/SC 接合において、強磁性体にマイクロ波を照射して磁化 ( $M$ ) の歳差運動 (一様なスピン波モードの励起) が引き起こされている状況を考え、その場合のジョセフソン効果について調べた。磁化の歳差運動は、FM 内部に  $B = 4\pi M$  の時間に依存した内部振動磁場を発生させるため、SC 側から FM 側へ侵入したクーパー対の位相は磁場の分だけ変更を受ける。従って、スピンの動的な性質は、内部振動磁場を通して位相の動的な性質と結合す

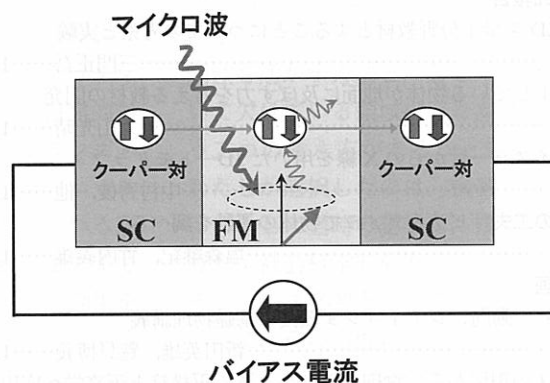


図 2 SC/FM/SC 接合における「強磁性ジョセフソン共鳴」の概念図。

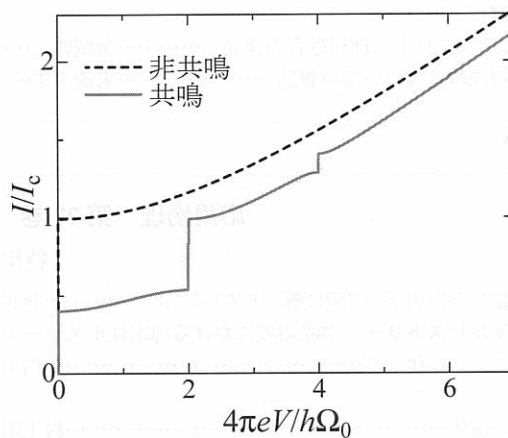


図 3 SC/FM/SC 接合の電流-電圧特性。  $I$  はバイアス電流、 $I_c$  はジョセフソン臨界電流、 $V$  は電圧、 $\Omega_0$  は強磁性共鳴周波数、 $e$  は素電荷、 $h$  はプランク定数である。

ることになる。すると、一種の“うなり”現象がおり、ジョセフソン電流は振動磁場の周波数とジョセフソン周波数(2つのSC間に生じる電位差に比例する周波数)の差の周波数で振動する。この“うなり”の周波数がゼロになったときに、ジョセフソン電流は直流成分のみが残る。この場合の電流-電圧特性を図3に示す。マイクロ波の周波数が強磁性共鳴(FMR)の周波数に等しいとき、図3の点線で示した非共鳴の場合とは異なり、電流-電圧特性はステップ構造を示す。この各ステップでは電流の変化に対して電圧降下がないため直流ジョセフソン電流が流れている。この新しい現象は「強磁性ジョセフソン共鳴」と名付けられた。このステップ構造の現れる電圧は、共鳴周波数の

“偶数倍”に比例した電圧で現れることが分かった。

本研究の結果は、SC/FM/SC接合が、スピン波を観測する新しい実験法や交流-直流超伝導コンバータ(超伝導電流の整流作用)に用いられる素子となりうることを示唆している。本研究で展開された「強磁性ジョセフソン共鳴」の理論は、今後のSC/FM/SC接合における動的な性質の研究の基礎になり、量子ビットの開発にも新たな指針を与えるものと大いに期待される。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) No. 5, p. 053707.  
 電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/053707>

〈情報提供: 挽野真一, 森 道康, 高橋三郎,  
 前川禎通(東北大学)〉

## 物理教育 第56巻 第2号(2008)

### 目次

**研究論文:** 超伝導現象を含む磁力線ダイナミクスの大型演示  
 ..... 斎藤吉彦 ..... 111

**研究報告**  
 LEDを量子分野教材とすることについての考察と実験  
 ..... 三門正吾 ..... 117

浮上している物体が地面に及ぼす力を考える教材の開発  
 ..... 大山光晴 ..... 121

ガスレーザー管からのX線を用いた3D-トモグラフィ  
 ..... 中村秀俊, 他 ..... 125

**私の工夫:** ビデオカメラで物体の運動を調べる  
 ..... 塩森継紀, 竹内義雄 ..... 130

**企画**  
 海外の動向: レディッシュ教授の基礎物理講義  
 ..... 新田英雄, 覧具博義 ..... 132

SSHの現場から: 物理のカリキュラム再構築と天文学へ応用  
 させた研究活動 ..... 井上哲秀 ..... 138

若手教師の声: 教員一年目の授業実践 ..... 大津豊隆 ..... 144

**談話室**  
 PISAそして日本の理科教育の課題 ..... 金城啓一 ..... 146

基礎物理教育についての雑感 ..... 末崎幸生 ..... 148

**図書紹介**  
 曾禰武一忘れられた実験物理学者 ..... 笠 潤平 ..... 149

物質とエネルギー【図説】科学の百科事典5  
 ..... 小野寺恭一 ..... 150

**《新潟支部特集》**  
 特集にあたって; 小中高大 これからの連携を考える  
 ..... 丸山 敬 ..... 151

理数教育ステップアップ研修における小・中・高の連携  
 ..... 長谷川雅一 ..... 152

高校生の科学的経験について ..... 大塚義信 ..... 156

高大連携物理講座1年目について ..... 梅田智子 ..... 158

長岡高校理数科の教育活動と高大連携 ..... 本田 崇 ..... 164

**ワンポイント**  
 乾電池で自動車は始動するか ..... 鬼塚史朗 ..... 171

エフ(F=ma)とガッツポーズ ..... 斎藤 孝 ..... 173

**学会報告**  
 平成20年度大学入試センター試験  
 物理Iおよび理科総合A問題に対する意見  
 ..... 入試検討委員会 ..... 166

**Information** ..... 174

## 応用物理 第77巻 第8号(2008年8月号) 予定目次

### 特集: 応用物理と進化論

**巻頭言:** 寺田寅彦の“鐘に響(チヌ)る”より ..... 兵藤申一

**オーラルヒストリー:** 学際領域における導電性ポリマーの研究  
 とノーベル化学賞 ..... 白川英樹

**特集**  
 科学の進化 ..... 村上陽一郎

宇宙の誕生と進化 ..... 佐藤勝彦

脳の進化における不変性と多様化 ..... 岡本 仁

技術革新による新しい医療 ..... 井街 宏

五感の科学一味を目で見る ..... 都甲 潔

テラヘルツ領域の新しい目を求めて ..... 阪井清美

進化型ハードウェアとその応用 ..... 樋口哲也

半導体産業の進化 ..... 渡辺久恒

ライト兄弟から折り紙スペースプレーンまで ..... 鈴木真二

科学教育の進化—応物の未来を考える ..... 鈴木芳文